

**PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT**

**This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.**

Date of Application: August 2, 2000

Application Number: P2000-234131

Applicant(s): VICTOR COMPANY OF JAPAN, LIMITED

June 7, 2001

**Commissioner,
Patent Office**

Kozo Oikawa

Number of Certification: 2001-3053434

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 8月 2日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-234131

出 願 人

Applicant(s):

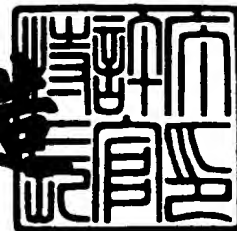
日本ビクター株式会社

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2001年 6月 7日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



【書類名】 特許願

【整理番号】 412000776

【提出日】 平成12年 8月 2日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04L 27/30
G06F 17/14

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市神奈川区守屋町 3 丁目 1 2 番地 日本ビ
クター株式会社内

【氏名】 高岡 勝美

【特許出願人】

【識別番号】 000004329

【氏名又は名称】 日本ビクター株式会社

【代表者】 守隨 武雄

【電話番号】 045-450-2423

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003654

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書
 【発明の名称】 再帰型離散フーリエ変換装置
 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

所定のサンプリング期間でサンプリングされ、時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、
 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、（ N は1以上の正の整数）のそれぞれの時点において得られたデータ値 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、
 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対して複素フーリエ変換を行なって得られる次数 k （ k は0、又は N より小さな正の整数）における複素フーリエ係数として、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ の信号出力を得る離散フーリエ変換装置において、

時刻 $t+N$ において供給されるデータ $x(t+N)$ より、 N サンプリング期間前に供給されたデータ $x(t)$ を減算して第1の減算信号を得るデータ更新手段と、

その得られた第1の減算信号から、既に生成された第2の減算信号を用いて再帰的に生成した加算信号を減算して新しい第2の減算信号を得る再帰処理手段と

その再帰処理手段より得られた第2の減算信号に第1の定数値を乗算した信号と、1 サンプリング期間前に供給された前記第2の減算信号に第2の定数値を乗じた信号と、を加算してフーリエ係数の実数部信号 $X_r(k, t+1)$ を得るとともに、前記第2の減算信号に第3の定数値を乗算してフーリエ係数の虚数部信号 $X_i(k, t+1)$ を得る乗算演算手段と、

より構成し、

前記再帰処理手段における再帰的に生成した加算信号は、1 サンプリング期間前に得られた前記第2の減算信号に第4の定数値を乗算した信号と、2 サンプリング期間前に得られた前記第2の減算信号とを加算して得られる信号であることを特徴とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【請求項 2】

所定のサンプリング期間でサンプリングされ、時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots

.....、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、(N は1以上の正の整数)のそれぞれの時点において得られたデータ値 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、.....、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対して複素フーリエ変換を行なって得られる次数 k (k は0、又は N より小さな正の整数)における複素フーリエ係数として、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ の信号出力を得る離散フーリエ変換装置において、

時刻 $t+N$ において供給されるデータ $x(t+N)$ より、 N サンプリング期間前に供給されたデータ $x(t)$ を減算して第1の減算信号を得るデータ更新手段と、

その得られた第1の減算信号から、既に生成された第2の減算信号を用いて再帰的に生成した加算信号を減算して新しい第2の減算信号を得る再帰処理手段と

、
その再帰処理手段より得られた第2の減算信号に第1の定数値を乗算した信号と、1サンプリング期間前に供給された前記第2の減算信号に第2の定数値を乗じた信号と、を加算してフーリエ係数の実数部信号 $X_r(k, t+1)$ を得るとともに、前記第2の減算信号に第3の定数値を乗算してフーリエ係数の虚数部信号 $X_i(k, t+1)$ を得る乗算演算手段と、

より構成し、

これらの従属接続してなるデータ処理手段、再帰処理手段、及び乗算演算手段の伝達関数 $H(z)$ は、次式により与えられることを特徴とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【数1】

$$H(z) = A(1 - z^{-N}) \left\{ \frac{\cos\left[2\frac{\pi k}{N}\right] - j\sin\left[2\frac{\pi k}{N}\right] - z^{-1}}{1 - 2\cos\left[2\frac{\pi k}{N}\right]z^{-1} + z^{-2}} \right\}$$

(但し、 A は $[x(t+N) - x(t)]$ に振幅値を与えるための正の定数)

【請求項3】

前記 $x(t+N)$ と、前記 $x(t)$ との差の値に対する振幅値を与えるための正の定数値 A は、 1 、 N の平方根の逆数、又は $1/N$ などの値を選択的に設定可能であることを特徴とする請求項2に記載の再帰型離散フーリエ変換装置。

【請求項4】

所定のサンプリング期間でサンプリングされ、時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、
 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、(N は1以上の正の整数)のそれぞれの時点において得られたデータ値 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対し、複数の次数 k (k は0、又は N より小さな正の整数)を用いて複素フーリエ変換を行ない、複数の複素フーリエ係数として、それぞれの係数の実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ変換装置において、

複数の次数 k に対応した複数の

時刻 $t+N$ において供給されるデータ $x(t+N)$ より、 N サンプリング期間前に供給されたデータ $x(t)$ を減算して第1の減算信号を得るデータ更新手段と、

その得られた第1の減算信号から、既に生成された第2の減算信号を用いて再帰的に生成した加算信号を減算して新しい第2の減算信号を得る再帰処理手段と

、その再帰処理手段より得られた第2の減算信号に第1の定数値を乗算した信号と、1サンプリング期間前に供給された前記第2の減算信号に第2の定数値を乗じた信号と、を加算してフーリエ係数の実数部信号 $X_r(k, t+1)$ を得るとともに、前記第2の減算信号に第3の定数値を乗算してフーリエ係数の虚数部信号 $X_i(k, t+1)$ を得る乗算演算手段と、

により構成し、

それぞれの組における前記再帰処理手段における再帰的に生成した加算信号は、1サンプリング期間前に得られた前記第2の減算信号に、その組が関る次数 k に対応した第4の定数値を乗算した信号と、2サンプリング期間前に得られた前記第2の減算信号と、を加算して得られる信号であることを特徴とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【請求項 5】

所定のサンプリング期間でサンプリングされ、時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、
 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、（ N は 1 以上の正の整数）のそれぞれの時点におい
 て得られたデータ値 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots
 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ が供給され、時刻 $t+N$ において供給されるデータ x
 $(t+N)$ より、 N サンプリング期間前に供給されたデータ $x(t)$ を減算して第 1
 の減算信号を得るとともに、その得られた第 1 の減算信号を基に、時刻 t から供
 給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対し、複数個の次数 k
 （ k は 0、又は N より小さな正の整数）を用いて複素フーリエ変換を行ない、複
 数組の複素フーリエ係数として、それぞれの係数の実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部
 $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ変換装置において、

複数個の次数 k に対応した複数組の

前記第 1 の減算信号から、既に生成された第 2 の減算信号を用いて再帰的に生
 成した加算信号を減算して新しい第 2 の減算信号を得る再帰処理手段と、

その再帰処理手段より得られた第 2 の減算信号に第 1 の定数値を乗算した信号
 と、1 サンプリング期間前に供給された前記第 2 の減算信号に第 2 の定数値を乗
 じた信号と、を加算してフーリエ係数の実数部信号 $X_r(k, t+1)$ を得るとともに
 、前記第 2 の減算信号に第 3 の定数値を乗算してフーリエ係数の虚数部信号 $X_i(k$
 $, t+1)$ を得る乗算演算手段と、

により構成し、

それぞれの組における前記再帰処理手段における再帰的に生成した加算信号は
 、1 サンプリング期間前に得られた前記第 2 の減算信号に、その組が関る次数 k
 に対応した第 4 の定数値を乗算した信号と、2 サンプリング期間前に得られた前
 記第 2 の減算信号と、を加算して得られる信号であることを特徴とする再帰型離
 散フーリエ変換装置。

【請求項 6】

前記それぞれの k の値に対応する複数の複素フーリエ係数は、 N 個の k の値に
 対応する複素フーリエ係数を出力するように構成することを特徴とする請求項 4
 、又は 5 に記載の再帰型離散フーリエ変換装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、フーリエ変換の演算装置に関し、特に簡易な演算処理によるフーリエ変換を行い、フーリエ変換の演算結果を短時間に得るための演算装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来より、時系データ列の周波数分析等に用いるフーリエ変換装置は音響信号処理分野、医療用機器の画像データ処理分野等における信号のスペクトル解析の外に、音響信号や画像信号の高圧縮符号化方式に、さらには通信分野における変調、復調技術として幅広く用いられている。

【0003】

そのフーリエ変換装置は、デジタル量として標本化されたデータ列を、N個（Nは整数値、例えば1024）の集団として扱い、そのN個のデータ列が存在する時間間隔を窓期間とするとともに、その窓期間を基本周波数とし、その窓期間に存在するデータ列の信号成分を基本周波数の高調波信号の実数部成分、及び虚数部成分として求めるものである。

【0004】

そして、この様にして扱うデータ列が、所定の期間毎に標本化された離散的なデータ列として扱われ、その離散データに対するフーリエ変換が行われるが、その手法は離散フーリエ変換（DFT；Discrete Fourier Transform）と呼ばれ、その離散フーリエ変換技術は、例えば製造工程の状態を離散データにより得て、その得られたデータを分析することにより工程品質を最良に保ち、製造される製品の良品率を向上させるといったような制御技術の中での分析技術としても利用されるなど、その応用分野は年々広げられている。

【0005】

この様にしてなされる離散フーリエ変換技術は、供給される信号を一定時間間隔でサンプリングし、そのサンプリングして得られる電圧値を標本化されたデー

タとして得、その得られたデータの集合であるデータ列が、所定の時間 t において得られる N 個のデータ $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 \dots 、 $x(t+N-2)$ 、 $x(t+N-1)$ であるとき、その N 個のデータに対して求められる離散フーリエ変換の値 $X(k, t)$ は次式で定義される。

【0 0 0 6】

【数 2】

$$\begin{aligned}
 X(k, t) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \exp\{-j2(n-t)\frac{\pi k}{N}\} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} \left\{ x_r(n) \cos\left[2(n-t)\frac{\pi k}{N}\right] + x_i(n) \sin\left[2(n-t)\frac{\pi k}{N}\right] \right\} \\
 &\quad + j \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} \left\{ -x_r(n) \sin\left[2(n-t)\frac{\pi k}{N}\right] + x_i(n) \cos\left[2(n-t)\frac{\pi k}{N}\right] \right\} \\
 &\quad \dots\dots\dots \text{式(1)}
 \end{aligned}$$

for $k = 0, 1, \dots, N-1$

【0 0 0 7】

この式からも分かるように、フーリエ変換は供給されるデータ列に対し求めるポイント毎に固有の基底関数を畳み込むようにして行われ、その基底関数を畳み込む演算を、多数の乗算処理により行うようにしている。

【0 0 0 8】

このようにして、その乗算処理を専用の乗算回路により、又は DSP (Digital signal processor) などを用いて行う場合などは、これらの乗算回路、ないしは DSP などの演算のために使用されるハードウェアに対する負担が非常に大きいことが知られている。

【0 0 0 9】

その乗算処理に対する負担は、前述の式 (1) で表される変換式による場合、 $4N^2$ 回の乗算を必要とし、例えば N が 1024 である場合の乗算回数は約 420 万回となってしまいうため、この回数の乗算を行うための回路規模は大きくなり、演算処理の負担が非常に大きくなり、さらにデータ列として取り扱うポイント数 N が大きくなると乗算処理回数も 2 乗倍で増加するなど好ましくない。

【 0 0 1 0 】

そこで通常は、離散フーリエ変換式について、基底関数が周期的な関数から成っていることを利用し、その規則性に着目して行列の変形を行うことにより演算効率を高めた F F T (Fast Fourier Transform: 高速フーリエ変換) が利用されるようになっている。

【 0 0 1 1 】

その F F T には、バタフライ演算といわれる演算手法が用いられており、そのバタフライ演算は、簡単な整数値である、例えば 2 を基数として定義し、供給される 2 値の複素データに対して加算、減算、乗算の複素演算を各 1 回ずつ行い、2 値の複素データを出力するように構成している。

【 0 0 1 2 】

従って、N ポイントの F F T は、 $\log_2 N$ 段のステージと、 $(N/2) \log_2 N$ 個のバタフライ演算により構成されており、 $(2N) \log_2 N$ 回の乗算処理回数により F F T の演算結果を得ることができるなど、演算効率の高いフーリエ変換法として用いられている。

【 0 0 1 3 】

通常は、この様にしてなされる F F T、もしくは D F T (Discrete Fourier Transform: 離散フーリエ変換) が用いられて、一定時間間隔で逐次サンプリングされて供給されるデータ列に対してフーリエ変換が行われるが、そのフーリエ変換は、サンプリングされ、標本化されたデータ列を順次メモリ回路に一時記憶されるとともに、そのメモリ回路に一時記憶されたデータ数が N 個となったときに、その N 個のデータに対するフーリエ変換処理を開始するようにしている。

【 0 0 1 4 】

その変換処理を行っている期間はメモリ回路に一時記憶されたデータは記憶されたままの状態に保たれたままフーリエ変換処理がなされ、演算処理が終了した時点で、再度新しいデータをメモリ回路に供給して一時記憶し、N 個の所定量のデータが記憶された後に再度変換処理を開始する様になされている。

【 0 0 1 5 】

しかし、フーリエ演算処理を行っているときにもデータは休みなく供給される

ため、別系統としてN個のデータ列を蓄えるメモリ回路を設けておき、N個のデータが供給される毎に、交互に一時記憶処理と演算処理を行なうようにして、連続的に供給される時系列データに対するフーリエ変換処理を行なう方法もとられている。

【 0 0 1 6 】

【発明が解決しようとする課題】

このようにしてなされるフーリエ変換の方法は、N個の一時記憶されたデータ列に対して、すなわちデータ列をブロック単位として扱いながら演算処理を行うため、このようにしてなされるフーリエ変換処理では少なくともN個分のデータ列に相当する遅延時間が生じてしまい、リアルタイムに変換結果を得ることはできない。

従って、データ列は逐次的に供給されるものの、フーリエ解析した結果はN個のサンプリング時間間隔毎にしか得られないこととなる。

【 0 0 1 7 】

これに対し、逐次供給される、サンプリングされる新たなデータを含むNポイントのデータ列に対してフーリエ変換処理を行い、サンプリングされたデータが供給される毎にフーリエ変換処理した結果を得るためには、その1サンプリング期間内にNポイントのフーリエ変換処理を行わなければならないこととなり、このような高速演算処理用に開発されたFFT演算手法を用いる場合でも、そのFFTから連続して演算されたフーリエ変換結果を得るためには、N倍の演算処理速度が要求され、そのような超高速なFFTを行ない、得られた演算結果を供給することは通常の場合は困難である。

【 0 0 1 8 】

フーリエ変換は、一般にFFT演算処理手法が用いられるが、そのFFT演算処理はサンプリング周波数が f_s で量子化されて供給されるNポイントのデータ列に対して、通常は f_s/N の周波数間隔で演算処理を行う。

【 0 0 1 9 】

一般には、演算処理中に供給される時系列データに対しても連続してフーリエ解析処理がなされるよう、フーリエ変換処理中にも他のバッファメモリにデータ

を取り込むようにし、一方のバッファメモリに一時記憶されたデータを演算処理している期間に他方のバッファメモリに供給されるデータを取り込み、N個のデータ取り込みを終了した時点で演算処理とデータ取り込み処理を切り換えてフーリエ演算処理を行なう方法はあるが、この場合は2組のバッファメモリとFFT演算処理手段が必要となり経済的に好ましい方法ではない。

【0020】

またこの方法では、供給されるN個の時系列データを纏めて扱うブロック処理である為、取り込まれたNポイントのデータに対するフーリエ変換結果が出力されるのはNサンプリング時間後であり、そのときに得られる解析結果はNサンプル毎のフーリエ変換処理結果のみしか出力されない。

【0021】

このようにして、逐次新たにサンプリングされて供給されるデータを含む最新のNポイントのデータに対するフーリエ変換結果をリアルタイムに出力することは出来なく、リアルタイムに変換結果を出力するためには上述のようなサンプリング期間毎のフーリエ変換処理が必要であるが、1サンプリング時間間隔で連続してフーリエ変換を行うことは、単位時間当りの演算量が膨大となり現実的ではない。

【0022】

一方、連続してフーリエ変換処理された演算結果を得る方法として、特開平1-59454号公報「フーリエ変換装置及びフーリエ変換法」にその手法が開示されている。

即ち、この公報には、サンプリングされて供給される振動波形値をフーリエ変換する方法について開示されているが、同変換法は新しく供給される振動波形値と、既に供給されフーリエ演算処理に用いられた古い振動波形値との差の値を求め、既に演算処理されて得られる古い複素振幅値より新しい複素振幅値を、振動波形のサンプリング値が供給される毎に得るというものである。

【0023】

このような、連続的にフーリエ変換を行うことが出来ることを利用したアプリケーションとして周波数解析などが考えられるが、そのようなアプリケーション

を考慮した場合は、任意の周波数帯域を任意の解像度で解析して、その結果によりアプリケーションを実行することが良く行われる。

【 0 0 2 4 】

しかしながら、前述の公報はそれらの点については考えられていない。

そこで本発明は、フーリエ解析を所望する任意の周波数帯域について、所望する任意の解像度を有して変換を行うのに適す連続的フーリエ変換手法を提供しようというものである。

【 0 0 2 5 】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記課題を解決するために以下の 1) ～ 6) の手段より成るものである。

すなわち、

【 0 0 2 6 】

1) 所定のサンプリング期間でサンプリングされ、時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、(N は 1 以上の正の整数) のそれぞれの時点において得られたデータ値 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対して複素フーリエ変換を行なって得られる次数 k (k は 0、又は N より小さな正の整数) における複素フーリエ係数として、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ の信号出力を得る離散フーリエ変換装置において、

時刻 $t+N$ において供給されるデータ $x(t+N)$ より、 N サンプリング期間前に供給されたデータ $x(t)$ を減算して第 1 の減算信号を得るデータ更新手段 (1) と、

その得られた第 1 の減算信号から、既に生成された第 2 の減算信号を用いて再帰的に生成した加算信号を減算して新しい第 2 の減算信号を得る再帰処理手段 (3) と、

その再帰処理手段より得られた第 2 の減算信号に第 1 の定数値を乗算した信号と、1 サンプリング期間前に供給された前記第 2 の減算信号に第 2 の定数値を乗

じた信号と、を加算してフーリエ係数の実数部信号 $X_r(k, t+1)$ を得るとともに、前記第2の減算信号に第3の定数値を乗算してフーリエ係数の虚数部信号 $X_i(k, t+1)$ を得る乗算演算手段(4)と、

より構成し、

前記再帰処理手段における再帰的に生成した加算信号は、1サンプリング期間前に得られた前記第2の減算信号に第4の定数値を乗算した信号と、2サンプリング期間前に得られた前記第2の減算信号とを加算して得られる信号であることを特徴とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【0027】

2) 所定のサンプリング期間でサンプリングされ、時刻 $t, t+1, t+2, t+3, \dots, t+N-1, t+N$ 、(N は1以上の正の整数)のそれぞれの時点において得られたデータ値 $x(t), x(t+1), x(t+2), x(t+3), \dots, x(t+N-1), x(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対して複素フーリエ変換を行なって得られる次数 k (k は0、又は N より小さな正の整数)における複素フーリエ係数として、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ の信号出力を得る離散フーリエ変換装置において、

時刻 $t+N$ において供給されるデータ $x(t+N)$ より、 N サンプリング期間前に供給されたデータ $x(t)$ を減算して第1の減算信号を得るデータ更新手段(1)と、

その得られた第1の減算信号から、既に生成された第2の減算信号を用いて再帰的に生成した加算信号を減算して新しい第2の減算信号を得る再帰処理手段(3)と、

その再帰処理手段より得られた第2の減算信号に第1の定数値を乗算した信号と、1サンプリング期間前に供給された前記第2の減算信号に第2の定数値を乗じた信号と、を加算してフーリエ係数の実数部信号 $X_r(k, t+1)$ を得るとともに、前記第2の減算信号に第3の定数値を乗算してフーリエ係数の虚数部信号 $X_i(k, t+1)$ を得る乗算演算手段(4)と、

より構成し、

これらの従属接続してなるデータ処理手段、再帰処理手段、及び乗算演算手段の伝達関数 $H(z)$ は、次式により与えられることを特徴とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【0028】

【数3】

$$H(z) = A(1 - z^{-N}) \left\{ \frac{\cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] - j \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] - z^{-1}}{1 - 2 \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] z^{-1} + z^{-2}} \right\}$$

(但し、 A は $[x(t+N) - x(t)]$ に振幅値を与えるための正の定数)

【0029】

3) 前記 $x(t+N)$ と、前記 $x(t)$ との差の値に対する振幅値を与えるための正の定数値 A は、1、 N の平方根の逆数、又は $1/N$ などの値を選択的に設定可能であることを特徴とする2)項に記載の再帰型離散フーリエ変換装置。

【0030】

4) 所定のサンプリング期間でサンプリングされ、時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、(N は1以上の正の整数)のそれぞれの時点において得られたデータ値 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対し、複数列の次数 k (k は0、又は N より小さな正の整数)を用いて複素フーリエ変換を行ない、複数列の複素フーリエ係数として、それぞれの係数の実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ変換装置において、

複数列の次数 k に対応した複数列の

時刻 $t+N$ において供給されるデータ $x(t+N)$ より、 N サンプリング期間前に供給されたデータ $x(t)$ を減算して第1の減算信号を得るデータ更新手段(1)と、

その得られた第1の減算信号から、既に生成された第2の減算信号を用いて再帰的に生成した加算信号を減算して新しい第2の減算信号を得る再帰処理手段(3)と、

その再帰処理手段より得られた第2の減算信号に第1の定数値を乗算した信号と、1サンプリング期間前に供給された前記第2の減算信号に第2の定数値を乗じた信号と、を加算してフーリエ係数の実数部信号 $X_r(k, t+1)$ を得るとともに、前記第2の減算信号に第3の定数値を乗算してフーリエ係数の虚数部信号 $X_i(k, t+1)$ を得る乗算演算手段(4)と、

により構成し、

それぞれの組における前記再帰処理手段における再帰的に生成した加算信号は、1サンプリング期間前に得られた前記第2の減算信号に、その組が関る次数 k に対応した第4の定数値を乗算した信号と、2サンプリング期間前に得られた前記第2の減算信号と、を加算して得られる信号であることを特徴とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【0031】

5) 所定のサンプリング期間でサンプリングされ、時刻 $t, t+1, t+2, t+3, \dots, t+N-1, t+N$ 、(N は1以上の正の整数)のそれぞれの時点において得られたデータ値 $x(t), x(t+1), x(t+2), x(t+3), \dots, x(t+N-1), x(t+N)$ が供給され、時刻 $t+N$ において供給されるデータ $x(t+N)$ より、 N サンプリング期間前に供給されたデータ $x(t)$ を減算して第1の減算信号を得るとともに、その得られた第1の減算信号を基に、時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対し、複数個の次数 k (k は0、又は N より小さな正の整数)を用いて複素フーリエ変換を行い、複数组の複素フーリエ係数として、それぞれの係数の実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ変換装置において、

複数個の次数 k に対応した複数组の

前記第1の減算信号から、既に生成された第2の減算信号を用いて再帰的に生成した加算信号を減算して新しい第2の減算信号を得る再帰処理手段(3)と、

その再帰処理手段より得られた第2の減算信号に第1の定数値を乗算した信号

と、1 サンプリング期間前に供給された前記第2の減算信号に第2の定数値を乗じた信号と、を加算してフーリエ係数の実数部信号 $X_r(k, t+1)$ を得るとともに、前記第2の減算信号に第3の定数値を乗算してフーリエ係数の虚数部信号 $X_i(k, t+1)$ を得る乗算演算手段(4)と、
により構成し、

それぞれの組における前記再帰処理手段における再帰的に生成した加算信号は、1 サンプリング期間前に得られた前記第2の減算信号に、その組が関する次数 k に対応した第4の定数値を乗算した信号と、2 サンプリング期間前に得られた前記第2の減算信号と、を加算して得られる信号であることを特徴とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【0032】

6) 前記それぞれの k の値に対応する複数の複素フーリエ係数は、 N 個の k の値に対応する複素フーリエ係数を出力するように構成することを特徴とする4)、又は5)項に記載の再帰型離散フーリエ変換装置。

【0033】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の再帰型離散フーリエ変換装置の実施の形態につき、好ましい実施例により説明する。

図1は、その再帰型離散フーリエ変換装置の実施例を示したものであり、同図と共に説明する。

【0034】

その再帰型離散フーリエ変換装置は一定時間間隔でサンプリングされたデータが供給され、供給された最新の N 個(N は正の整数)のデータを一時記憶するデータ更新部1と、離散フーリエ変換を行なうための基底周波数を設定する基底周波数設定部2と、メモリ回路を内蔵し、一時記憶した信号を再帰的に用いつつ信号処理を行う再帰処理部3と、乗算演算処理を行い得られたフーリエ変換係数を出力する乗算処理部4とより構成される。

【0035】

次に、この様に構成される再帰型離散フーリエ変換装置の動作について説明す

る。

まず、供給されるデータは図示しないサンプリング回路により一定時間間隔でサンプリングされ、サンプリングされて量子化された離散データがデータ更新部 1 に供給される。

【 0 0 3 6 】

そのサンプリング回路は、間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ (N は自然数) において供給されるデータ値のサンプリングを行ない、その時刻に供給されているデータ値をそれぞれの時刻に対応したサンプリング値としてデータ列 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ を生成する。

【 0 0 3 7 】

このサンプリング回路の動作は、供給されるアナログ信号をデジタル信号に変換する A/D 変換器の動作と同様であり、サンプリング周波数の逆数で与えられる一定時間間隔で供給されるアナログ信号電圧値をデジタル信号値に変換するものであり、変換されたデジタル信号値はパルス振幅変調信号を与えるアナログ電圧と相似の関係にある電圧値であったり、あるいはその電圧値を 2 進数のデジタル値で表現するものであったりする。

【 0 0 3 8 】

このようにして、データ更新部 1 には、時刻 t でサンプリングされたサンプリングデータ $x(t)$ 、時刻 $t+1$ における $x(t+1)$ 、 \dots 、時刻 $t+N-1$ における $x(t+N-1)$ 、時刻 $t+N$ における $x(t+N)$ 、 \dots が供給される。

【 0 0 3 9 】

データ更新部 1 は、供給されるデータのうち、最新に供給されるデータ数 N 個 (N は正の整数) のデータを更新しつつ一時記憶する。

即ち、供給されるデータが $x(t)$ より開始され、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ のように供給されるときは、供給されたデータ $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ の全てを一時記憶し、その一時記憶の動作はデータ $x(t+N-1)$ が入来するまで継続し、 $x(t+N-1)$ のデータが入来した段階で総データ数は N 個となりデータ更新部のデータ領域がフルとなる。

【0040】

このような状態で、次のデータ $x(t+N)$ が供給されるときは、総データ数が $N+1$ となるため、データ更新部1は $x(t+N)$ より $x(t)$ を減算し、減算して得られるデータを再帰処理部3に供給するとともに、一番古いデータ $x(t)$ をメモリより削除し、データ更新部1は $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ の N 個のデータを一時記憶する。

【0041】

同様にして、データ更新部1は、次のデータ $x(t+N+1)$ が供給されるときはデータ $x(t+N+1) - x(t+1)$ を求めて再帰型処理部3に供給するとともに、 $x(t+1)$ をメモリより削除するようにし、常に供給されるデータの内、最新の N 個のデータをデータ更新部1に一時記憶する。

【0042】

このようにして、一時記憶された N 個のデータは再帰処理部3に供給され、後述の方法により再帰処理部3、及び乗算処理部4でフーリエ変換演算処理が行われる。

【0043】

その前者の再帰処理部3は内蔵されるメモリ回路に演算途中結果を一時記憶し、一時記憶された信号を再帰的に使用しつつフーリエ演算を行なうための前信号処理を行い、前処理された信号は後者の乗算処理部4に供給され、後処理に関する乗算処理を行い、フーリエ係数の実数部信号 $X_r(k, t+1)$ 、及び虚数部信号 $X_i(k, t+1)$ を得る。

【0044】

その様になされるフーリエ演算は、所定の解像度を有して分析されたフーリエ演算結果を得るため、所望の解像度を与えるための基底周波数は基底周波数設定部2により再帰処理部3、及び乗算処理部4の動作パラメータが設定され、その設定されたパラメータに従って、所定の周波数解像度情報によるフーリエ分析結果が演算処理されて出力されるようになっている。

【0045】

次に、この再帰型離散フーリエ演算処理方法について、従来から行なわれてい

るフーリエ演算処理をも参照しつつ、さらに詳細に説明する。

図 2 に、供給される信号波形をサンプリング期間 t_s でサンプリングして得られるデータ値と、それに対する D F T 演算の関係を模式的に示し、説明する。

【 0 0 4 6 】

同図において、時間 t より一定のサンプリング期間でサンプリングされた N 個の実数データ値、 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ の集合、及び時間 $t+1$ よりサンプリングされて得られる N 個の実数データ値、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ の集合を示してある。

【 0 0 4 7 】

そして、その時間 t よりサンプリングされた N 個の実数データ値であるデータ列に対して求められる離散フーリエ変換の値 $X(k, t)$ は次式で定義される。

【 0 0 4 8 】

【数 4】

$$\begin{aligned} X(k, t) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \exp \left[-j 2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式(2)} \\ &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \\ &\quad - j \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \\ &= X_r(k, t) - j X_i(k, t) \end{aligned}$$

$$\text{for } k = 0, 1, \dots, N-1$$

【 0 0 4 9 】

このようにして定義された、任意の時間 t より供給されたサンプリングデータ列、 $x(t) \sim x(t+N-1)$ の複素フーリエ変換の実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ を次のように定義する。

【 0 0 5 0 】

【数 5】

$$X_r(k, t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式(3)}$$

$$X_i(k, t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式(4)}$$

for $k = 0, 1, \dots, N-1$

【 0 0 5 1 】

そして、これらの式 (3)、及び (4) において、前述の図 2 に示すように時間 $t+1$ において、新たにデータ $x(t+N)$ が供給されると、実数部および虚数部の変換は次式で表されるように更新される。

【 0 0 5 2 】

【数 6】

$$X_r(k, t+1) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t+1}^{t+N} x(n) \cos \left[2(n-t-1) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式(5)}$$

$$X_i(k, t+1) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t+1}^{t+N} x(n) \sin \left[2(n-t-1) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式(6)}$$

【 0 0 5 3 】

ここで、最初に供給されたデータである $x(t)$ を削除し、最も新しく供給されるデータ $x(t+N)$ を組み入れるとともに、時間 t から開始されるデータ列に対するフーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を用いることにより、時間 $t+1$ より開始されるデータ列に対するフーリエ係数 $X_r(k, t+1)$ 、及び $X_i(k, t+1)$ を得ることができる。

【 0 0 5 4 】

次に示す式 (7)、及び (8) は、その様にして式 (5)、及び (6) より導き出されたものである。

【 0 0 5 5 】

【数 7】

$$X_r(k, t+1) = \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{\sqrt{N}} [x(t+N) - x(t)] \right. \\ \left. \times \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] + X_i(k, t) \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \right\} \quad \dots\dots\dots \text{式(7)}$$

$$X_i(k, t+1) = X_i(k, t) \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ - \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{\sqrt{N}} [x(t+N) - x(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式(8)}$$

【0 0 5 6】

このようにして、これらの変換式で示される再帰型 DFT 変換により、時間 $t+1$ における複素フーリエ変換結果 $X_r(k, t+1) - j X_i(k, t+1)$ を、サンプリングされて供給されるデータ $x(t+N)$ と、時間 t における複素フーリエ変換結果 $X_r(k, t) - j X_i(k, t)$ とを用いて導き出すことができる。

【0 0 5 7】

それは、前述の図 2 に示したような、サンプリング時間間隔で逐次サンプリングされて得られる新たなデータを含む最新の N ポイントのデータに対するフーリエ変換結果を得ることができることを示している。

【0 0 5 8】

さて、ここで、この様にしてなされるフーリエ変換について、ある係数を有するシステムに連続するサンプリングデータを供給して変換を行うような線形時不変のシステムであると見なすことにより、この変換処理はフィルタリング処理であるとみなすことができる。

【0 0 5 9】

そこで、振幅値を与える $1/\sqrt{N}$ (N の平方根) を A とおき、時刻 t から供給されるデータ列に対するフーリエ係数の実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ を

それぞれ $y_{r,k}(t)$ 、及び $y_{i,k}(t)$ とおくとき、前述の式 (7)、及び (8) のそれぞれを、入力 x に対する出力 y の変換式として扱い、時刻 $t+1$ から供給されるデータのフーリエ係数の変換式を次のように表すことができる。

【0060】

【数8】

$$y_{r,k}(t+1) = \{y_{r,k}(t) + A[x(t+N) - x(t)]\} \\ \times \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] + y_{i,k}(t) \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ \dots\dots\dots \text{式(9)}$$

$$y_{i,k}(t+1) = y_{i,k}(t) \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ - \{y_{r,k}(t) + A[x(t+N) - x(t)]\} \\ \times \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ \dots\dots\dots \text{式(10)}$$

$$(\text{但し } A = \frac{1}{\sqrt{N}})$$

【0061】

そしてさらに、これらの式 (9) 及び (10) について z 変換を行うと、その変換結果は次の式 (11)、及び (12) のように表せる。

【0062】

【数 9】

$$Y_{r,k}(z) = \{Y_{r,k}(z)z^{-1} + A[X(z)z^N - X(z)]\} \\ \times \cos\left[2\frac{\pi k}{N}\right] + Y_{i,k}(z)z^{-1} \sin\left[2\frac{\pi k}{N}\right] \\ \dots\dots\dots \text{式 (11)}$$

$$Y_{i,k}(z) = Y_{i,k}(z)z^{-1} \cos\left[2\frac{\pi k}{N}\right] - \{Y_{r,k}(z)z^{-1} \\ + A[X(z)z^N - X(z)]\} \sin\left[2\frac{\pi k}{N}\right] \\ \dots\dots\dots \text{式 (12)}$$

【0 0 6 3】

ここで、入力 $X(z)$ に対する出力 $Y(z)$ の伝達関数を $H(z)$ とすると、
 $H(z)$ は次式で与えられる。

【0 0 6 4】

【数 1 0】

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)}$$

【0 0 6 5】

そこで、式 (11)、及び (12) を連立方程式とし、実数部、及び虚数部のそれぞれの伝達関数を求めると、次式 (13)、及び (14) のように求められる。

【0 0 6 6】

【数 1 1】

$$H_r(z) = A(1 - z^{-N}) \left\{ \frac{\cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] - z^{-1}}{1 - 2 \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] z^{-1} + z^{-2}} \right\}$$

.....式 (13)

$$H_i(z) = A(1 - z^{-N}) \left\{ \frac{-\sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right]}{1 - 2 \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] z^{-1} + z^{-2}} \right\}$$

.....式 (14)

【0 0 6 7】

このようにして、再帰型 D F T を示す伝達関数は、次式 (15) により表される

【0 0 6 8】

【数 1 2】

$$H(z) = A(1 - z^{-N}) \left\{ \frac{\cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] - j \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] - z^{-1}}{1 - 2 \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] z^{-1} + z^{-2}} \right\}$$

.....式 (15)

【0 0 6 9】

この式において、 $1 - z^{-N}$ は入力データ更新時の最も古いデータの削除を示しており、分数で示される部分は、分子は 1 次、分母は 2 次の次数を有する I I R フィルタ（巡回型フィルタ）として構成されている。

【0070】

本来DFTは有限なポイント数Nに対して処理を行うFIRフィルタであるが、前述の式(15)のように、IIRフィルタを用いて実現することの方が、FIRフィルタよりも簡単なハードウェアで構成することができる。

【0071】

次に、この伝達関数で表せる特性をハードウェアにより実現する方法について述べる。

ここで、基底周波数 $\cos(2\pi k/N)$ 、及び $\sin(2\pi k/N)$ をそれぞれ、 Γ_c 、 Γ_s (ガンマc、ガンマs)とおくと式(15)は次のようになる。

【0072】

【数13】

$$H(z) = A(1 - z^{-N}) \left(\frac{\Gamma_c - j\Gamma_s - z^{-1}}{1 - 2\Gamma_c z^{-1} + z^{-2}} \right)$$

.....式(16)

$$\begin{aligned} \text{(ただし } \Gamma_c &= \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \text{ ,} \\ \Gamma_s &= \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \text{ ,} \\ A &= \frac{1}{\sqrt{N}} \text{)} \end{aligned}$$

【0073】

このようにして得られた式(16)を基に、再帰型DFTを構成する方法について述べる。

図3は、その離散フーリエ変換を行う再帰型DFT演算装置であり、その構成と動作について詳述する。

【0074】

その再帰型DFT演算装置は、メモリ11及び減算器12よりなる更新処理部

1 と、減算器 3 1、加算器 3 2、メモリ 3 3、3 4、及び乗算器 3 5 とよりなる再帰処理部 3 と、乗算器 4 1、4 2、4 3、及び加算器 4 4 とよりなる乗算処理部 4 とで構成される。

【 0 0 7 5 】

同図において、メモリ 1 1 は z^{-N} 、メモリ 3 3 と 3 4 はそれぞれ z^{-1} と記してあるが、このべき乗の数字は供給されたデータを一時記憶する期間を示しており、 $-N$ は N サンプリング期間、 -1 は 1 サンプリング期間供給されるデータを一時記憶する。

【 0 0 7 6 】

また、減算器 1 2、及び 3 1 は、同図に示す水平方向に供給される信号より、垂直方向（下から上）に供給される信号を減算し、減算して得られる信号を減算器出力として供給する。

そして、加算器 3 2 及び 4 4 は矢印で示される 2 つの供給される信号を加算し、加算して得られる信号を出力する。

【 0 0 7 7 】

乗算器 3 5、4 1、4 2、及び 4 3 は、供給される信号に対し、図中の乗算器の側に示す記号に基づく値を乗算し、乗算して得られた結果を供給する様になされており、それらの乗算器が乗算する値はそれぞれ、 $-2\Gamma_c$ 、 $A\Gamma_c$ 、 $-A$ 、 $-A\Gamma_s$ である。

【 0 0 7 8 】

次に、このようにして構成される再帰型 D F T 演算装置の動作について説明する。

まず、入力信号として $x(t+N)$ が供給され減算器 1 2 及びメモリ 1 1 に供給される。

【 0 0 7 9 】

メモリ 1 1 は供給された信号を N サンプリング期間遅延させるが、この時点におけるメモリ 1 1 の出力信号は N サンプル期間前に供給された信号、即ち $x(t)$ が出力されて減算器 1 2 への減算用信号として供給されるため、この更新処理部では $x(t+N) - x(t)$ の演算がなされる。

【0080】

このようにして、更新処理部ではNサンプルクロック毎に蓄積されるデータの更新を行うが、その様にしてなされる信号処理は、入力された信号に第1の伝達関数である $1/(1-z^{-N})$ を乗算する処理でもある。

【0081】

このように、処理されて得られた信号は再帰処理部3の減算器31に供給され、ここでは加算器32からの信号が減算され、減算して得られた信号の一部は演算処理部に供給されるとともに、他の一部はメモリ33に供給される。

【0082】

メモリ33で1サンプル期間遅延された信号は乗算器35、メモリ34、及び乗算部の乗算器42に供給される。

乗算器35で所定の数値が乗算されたメモリ33より供給される信号は加算器32の一方の入力端子に供給されるとともに、メモリ34により更に1サンプル期間遅延された信号として加算器32の他方の入力端子に供給され、このようにして加算された信号は前述の減算器31の減算用信号端子に供給される。

【0083】

このようにして減算器31に供給された信号は、メモリ33と乗算器35により与えられる特性 $-2\Gamma_c Z^{-1}$ と、メモリ33及び34により与えられる特性 z^{-2} の信号が加算されて減算器31により減算されるため、この減算器31は、供給される信号に対して第2の伝達関数 $1/(1-2\Gamma_c z^{-1}+z^{-2})$ の乗算処理を行うものであり、再帰的に過去のデータを用いながら演算処理を行っている。

【0084】

このようにして、第2の伝達関数を乗算した信号q1、及びその信号q1をメモリ33により1サンプル期間遅延された信号q2のそれぞれが乗算部4に供給される。

【0085】

そして乗算処理部4では、信号q1の一方は乗算器41により $A\Gamma_c$ が乗じられて第1の乗算信号が得られ、また信号q2は乗算器42により $-A$ が乗じられて第2の乗算信号が得られ、これらの第1と第2の乗算信号は加算器44に供給、

加算されて信号 $X_r(k, t+1)$ が得られ、その得られた信号はフーリエ係数の実数部信号として供給される。

【0086】

乗算処理部4に供給された信号 q_1 の他方は乗算器43により $-A\Gamma_s$ が乗じられて信号 $X_i(k, t+1)$ が得られ、この得られた信号はフーリエ係数の虚数部信号として供給されるようになされている。

【0087】

このようにして乗算処理部4でなされる伝達関数の演算は、第3の伝達関数 $A(\Gamma_c - j\Gamma_s - z^{-1})$ に対して実数部と虚数部がそれぞれに演算処理されて、複素フーリエ係数出力信号が得られるようになっている。

【0088】

以上のようにして、この再帰型DFT演算装置は、時間 $t+1$ においてサンプリングされて供給されるデータ $x(t+N)$ と、過去に供給されたデータに対するフーリエ演算の途中にあるデータを再帰的に利用することにより、時間 $t+1$ における複素フーリエ変換結果 $X_r(k, t+1) - jX_i(k, t+1)$ を導き出すことができる。

【0089】

なお、前述の図3においては、再帰処理部3より供給される信号は、 q_1 、及び q_2 の2つの信号とされているが、乗算処理部4にメモリ33がある場合は、 q_2 の信号線を省略することが出来る。

【0090】

図4に、再帰処理部3と乗算処理部4を1本の信号線 q_1 により結合する場合の構成を示す。

しかし、同図の乗算処理部4は前述の図3における乗算処理部4に対してメモリ45が余分に必要とされている。

【0091】

以上、前述の式(16)により示される伝達関数を、第1の伝達関数 $1/(1 - z^{-N})$ 、第2の伝達関数 $1/(1 - 2\Gamma_c z^{-1} + z^{-2})$ 、及び第3の伝達関数 $A(\Gamma_c - j\Gamma_s - z^{-1})$ に分けて再帰型DFT演算装置を構成することを示したが

、これらの遅延、加減算、乗算機能を有する演算回路は、特にデジタル回路により構成するときの回路規模は小さく、容易な回路ブロックにより再帰型離散フーリエ変換回路を構成することができる。

【 0 0 9 2 】

そして、このようにして伝達関数を用いて行う再帰型離散フーリエ変換方法は、フーリエ解析を所望する基底周波数を選択して行うことができることから、FFTのように取り扱うポイント数が2の冪乗に制限されることはなく、Nは任意の正の整数値を取り得るものである。

【 0 0 9 3 】

さらに、任意の整数Nを用いて行うフーリエ変換では、供給されるデータ列の長さNを変えて、例えばNの値を大きくすることにより時間方向について解像度の高い周波数解析を行えるなど、Nの値を可変してフーリエ変換による解析解像度を所望の値にした演算結果を得ることができるため、このようにして構成される再帰型離散フーリエ変換回路は、任意の解像度を選定してフーリエ変換処理を行うことができる。

【 0 0 9 4 】

以上のようにして、この再帰型DFT演算装置は任意の解像度を選定しつつフーリエ変換処理を行なうことが出来るものであるが、その周波数解析は解析する周波数毎に個別に解像度を設定してを行うことができるものでもある。

さて、次に、個別の周波数に対して同時にフーリエ変換を行う変換方法について述べる。

【 0 0 9 5 】

図5は、解析する周波数ごとに個別なDFTモジュールを用いる再帰型DFT変換装置の構成を示したものである。

同図において、サンプリングされて供給されるデータ $x(t+N)$ はモジュール1～Nに供給され、それぞれのモジュールにおいて周波数解析されたそれぞれの周波数における出力信号は、並列に供給されるようになされている。

【 0 0 9 6 】

即ち、モジュール1は解析用の基底周波数 Γ_c 、及び Γ_s における次数kの値

を 0 としてフーリエ解析を行うモジュールであり、モジュール 2 は k を 1 として、以下同様にモジュール N は k の値を $N - 1$ として周波数解析を行い、解析された出力信号を供給する様になされている。

【 0 0 9 7 】

ここに用いる D F T モジュールは、同図に示すようにモジュールを N 個並列に接続して N ポイントの全ての基底周波数に対する D F T 演算回路を構成する方法、または必要な基底周波数に関するモジュールのみを用いて、それに対応する解析結果を得ることもできる。

【 0 0 9 8 】

そして、これらの再帰型 D F T 演算は、所定の特定ポイントのフーリエ変換値を算出するために、他のポイントのフーリエ変換値を用いることはないため、即ち相互に依存することがなく、独立にフーリエ変換値を得ることができる。

【 0 0 9 9 】

このように、独立して、所定の周波数におけるフーリエ変換値を求めることができることは、例えば特定の周波数ポイントに着目する場合、即ち、 k を特定の値に選定する場合は、 Γ_c 、及び Γ_s として示される三角関数の式の値は定数となる。

【 0 1 0 0 】

このことを従来の D F T 演算と比較するに、従来の D F T の定義が前述の式 (1) により行われ、基底関数を示す三角関数の値が k の値とともに変化するバタフライ演算を用いて行われるため、従来の F F T では特定のポイントの算出は難しいが、ここに示した再帰型 D F T 演算による方法では、三角関数で示される式の値が定数であるため、特定のポイントに対するフーリエ係数の算出が容易である特徴を有する点で異なっている。

【 0 1 0 1 】

この様に、この回帰型 D F T は、周波数解析すべき周波数に対応する k の値を選定することにより、選定した周波数ポイントにおける D F T 変換結果を簡単な演算により得ることが出来る。

【 0 1 0 2 】

さらにまた、フーリエ解析を所望する基底周波数のみを選択して行なうことができるため、従来のFFTのように取り扱うポイント数が2の指数ポイント（2のべき乗で示される値；2、4、8、16、32、64、128、・・・・・・）に制限されることはなく、任意のポイント数を指定してフーリエ解析を行なうことができる。

【0103】

次に、このようにしてなされる演算モジュールが並列に配置される再帰型DFT演算回路の構成について述べる。

前述の図5に示したNポイントの再帰型フーリエ変換における演算は、並列に並べられたN個のモジュール全てにおいて全く同一の動作を行う構成個所が存在し、その同一の動作を行う部分を共通化したフーリエ変換回路を構成することができる。

【0104】

図6に、モジュールの一部を共用化したNポイント再帰型DFT変換器の構成を示す。

同図におけるDFTは、前述の図5に示したモジュールに対して、同一の動作を行う部分を共通化し、共通でない部分をサブモジュールとして構成したものである。

【0105】

即ち、モジュールを構成する前述の図3の再帰型DFT変換回路において、サンプリングされて供給されるデータをNサンプル分蓄積する遅延器11と、サンプリングされて供給されるデータ値から遅延器11に一時記憶されている最も古いデータ値との減算を行う減算器12とが共通に用いられている。

【0106】

サブモジュール1～(N-1)のそれぞれは、モジュール1～(N-1)に対して、これらの共通な構成部分が除かれた構成のものであり、それぞれのサブモジュール1～(N-1)は、共通の遅延器11、及び減算器12より供給される信号を共用して使用し、回路規模の縮小、小型化、及び省電力化を図っている。

【0107】

以上、再帰型離散フーリエ変換装置について述べたが、信号形式の変換を逆に行う装置として再帰型逆離散フーリエ変換装置がある。

即ち、ここで述べた再帰型離散フーリエ変換装置は時系列データを周波数系列のデータに変換する装置であるが、再帰型逆離散フーリエ変換装置は周波数系列データを時系列のデータに変換する装置であり、ここに述べた装置の構成方法を応用して再帰型逆離散フーリエ変換装置を実現することが出来る。

【0108】

そして、周波数系列のデータを再帰型逆離散フーリエ変換装置により時系列データとして生成し、生成された時系列データを再帰型離散フーリエ変換装置により周波数系列のデータに変換するときは、両者が相対応するパラメータを利用して変換を行う場合は、元の周波数系列データが再現される。

【0109】

そのパラメータは、前述の式(13)、及び式(14)においてAとして示した振幅値を規定する数値などであり、この数値としては1、 $1/N$ 、又はNの平方根の逆数などの値が割り付けられて用いられる。

【0110】

即ち、パラメータとして例えば数値aが用いられて再帰型逆離散フーリエ変換がなされて生成されたデータを、再帰型離散フーリエ変換に供給するようにして対称的な信号変換、信号再変換を行う場合は、そのときに用いられるフーリエ逆変換のパラメータaに対応するパラメータAを用いてフーリエ変換を行なうと変換前のデータを得ることが出来る。

【0111】

そのa、及びAにより与えられる信号の振幅が、フーリエ逆変換側で与えられる値が1のときはフーリエ変換側では $1/N$ とし、フーリエ逆変換側が $1/N$ のときはフーリエ変換側は1とし、そしてフーリエ逆変換側がNの平方根の逆数によるときはフーリエ変換側でもNの平方根の逆数に基づく振幅を与えるようにすると、フーリエ逆変換を行なった信号をフーリエ変換することにより変換前のデータを得ることができる。

【0112】

このようにして構成されるフーリエ逆変換を OFDM (直交周波数分割多重変調) 信号の生成装置に、そしてフーリエ変換を OFDM 信号受信装置に使用するようにして、フーリエ逆変換によりデジタル変調されて送信される信号を生成し、受信側では送信された信号をフーリエ変換を用いて復号するようにし、そのときに用いられる振幅を定める定数 a 、及び A は、前述のような相対応する値に設定すればよい。

【 0 1 1 3 】

しかし、実際にこのようにして生成され、伝送される OFDM 信号はその経路中で振幅値 (伝送される信号の利得) を変動させる要因が多くあるため、離散フーリエ変換時の振幅値は逆離散フーリエ変換時の値にほぼ対応している程度で良く、離散フーリエ変換における A の値は組み込みやすい値を適宜選択して設定すればよいことになる。

【 0 1 1 4 】

以上、式 (15) により導かれる離散フーリエ変換、及びその応用としての逆離散フーリエ変換について述べた。

これらのフーリエ係数を求める式は、 N サンプル離れた 2 つのデータ値の差と、1 サンプルクロック前に求められたフーリエ係数値に対して基底周波数の正弦値、及び余弦値を用い、単純な形でフーリエ係数値を求めることが出来る。

【 0 1 1 5 】

そして、式 (16) により導かれる離散フーリエ変換に用いられている基底周波数の余弦値 Γ_c 、及び正弦値 Γ_s は、お互いに直交している関数を用いることにより再帰型 DFT 変換装置を構成できることを示しており、例えば Γ_c と Γ_s を入れ替えるなど、その他のお互いに直交する関数を用いて同様な分析手法を実現することができる。

【 0 1 1 6 】

そのときは、乗算器 35、41、42、43 で乗じる定数値、及びそれらの極性についても、フーリエ係数が可能な限り単純な形の式で求められるようにお互いの組み合わせを定め、その定められた手法によりフーリエ係数を導き出すようにする必要がある。

【 0 1 1 7 】

【発明の効果】

請求項 1 記載の発明によれば、供給される N 個のサンプルよりなるデータ列に対して複素フーリエ変換を行い、次に供給される新しいサンプルのサンプル値より、既に複素フーリエ変換を行うために使用した最も古いサンプル値を減算して減算値を求めると共にその最も古いサンプルを削除し、その減算値と既に求めた複素フーリエ演算結果を基にして 1 サンプルずつ新しくされた N 個のサンプルに対する離散フーリエ演算結果を得ることができるので、従来の様に N サンプルのデータが供給されてからフーリエ演算を行うのとは異なり、1 サンプル期間内に必要とする解析解像度を与えるポイント数 N における高速フーリエ演算結果を得る再帰型フーリエ変換装置を構成することが出来る効果を有している。

【 0 1 1 8 】

また、請求項 2 記載の発明によれば、供給される N 個のサンプルよりなるデータ列に対して複素フーリエ変換を行い、次に供給される新しいサンプルのサンプル値と、既に複素フーリエ変換を行うために使用した最も古いサンプル値と、既に求めた複素フーリエ演算結果とを基にして、所定の伝達関数を用いて演算することにより 1 サンプルずつ新しくされた N 個のサンプルに対する離散フーリエ演算結果を求めることができるので、従来の様に N サンプルのデータが供給されてからフーリエ演算を行うのとは異なり、1 サンプル期間内に必要とする解析解像度を与えるポイント数 N における高速フーリエ演算結果を得る再帰型フーリエ変換装置を構成することが出来る効果を有している。

【 0 1 1 9 】

また、請求項 3 記載の発明によれば、請求項 2 の効果に加え、特に正の定数値 A を 1、 $1/N$ 、又は N の平方根の逆数などの値を適宜選択して設定した FFT により演算処理を行なうことが出来るので、例えば通信装置に用いられ、伝送すべき情報信号を IFFT（逆高速フーリエ変換）変換処理して時系列信号に変換してその時系列信号を伝送するような場合、その伝送された信号を FFT に供給して FFT 演算を行うことにより情報信号を再生するようなフーリエ演算装置において、その IFFT 演算に使用された、例えば 1、 $1/N$ 、又は N の平方根の

逆数である a の定数値に対応する定数値 A を F F T 演算処理回路に用い、前記 I F F T と相補的に動作する F F T を構成して前記情報信号を復号することができるなど、相対応する系から供給される信号に対しても、その系での I F F T 演算に使用された a に対応する定数値 A を用いることにより、品質の良い特性を有する再帰型フーリエ変換装置を構成することが出来る効果を有している。

【 0 1 2 0 】

また、請求項 4 記載の発明によれば、供給される N 個のサンプルよりなるデータ列に対して複数の基底周波数に対して複素フーリエ変換を行い、次に供給される新しいサンプルのサンプル値より、既に複素フーリエ変換を行うために使用した最も古いサンプル値を減算して減算値を求めると共にその最も古いサンプルを削除し、その減算値と既に求めた複素フーリエ演算結果を基にして 1 サンプルづつ新しくされた N 個のサンプルに対し、複数の基底周波数に対する離散フーリエ演算結果を得ることができるので、従来の様に N サンプルのデータが供給されてからフーリエ演算を行うのとは異なり、1 サンプル期間内に、複数の基底周波数に対するフーリエ演算結果を得る高速に動作する再帰型フーリエ変換装置を構成することが出来る効果を有している。

【 0 1 2 1 】

また、請求項 5 記載の発明によれば、供給される N 個のサンプルよりなるデータ列に対して複数の基底周波数に対して複素フーリエ変換を行い、次に供給される新しいサンプルのサンプル値より、既に複素フーリエ変換を行うために使用した最も古いサンプル値を減算して減算値を求めると共にその最も古いサンプルを削除し、その減算値と既に求めた複素フーリエ演算結果を基にして 1 サンプルづつ新しくされた N 個のサンプルに対し、複数の基底周波数に対する離散フーリエ演算結果を得るに際して、第 1 の一次記憶手段、減算部、及び定数乗算部を共通に使用することができるので、従来の様に N サンプルのデータが供給されてからフーリエ演算を行うのとは異なり、1 サンプル期間内に、複数の基底周波数に対するフーリエ演算結果を得る高速に動作するハードウェアの回路を一部共用化することにより簡略化された構成の再帰型フーリエ変換装置を構成することが出来る効果を有している。

【 0 1 2 2 】

また、請求項 6 記載の発明によれば、請求項 3、及び 4 の効果に加え、特に N 個の全ての基底周波数に対するフーリエ演算結果を得る高速に動作する再帰型フーリエ変換装置を構成することが出来る効果を有している。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施例に関わる再帰型離散フーリエ変換装置の概略構成を示す図である。

【図 2】

本発明の実施例に関わる再帰型離散フーリエ変換装置に供給される信号波形をサンプリングして得られるデータ値と、それに対する DFT 演算の関係を模式的に示した図である。

【図 3】

本発明の実施例に関わる伝達関数を用いて演算を行う再帰型離散フーリエ変換装置の構成を示す図である。

【図 4】

本発明の実施例に関わる伝達関数を用いて演算を行う再帰型離散フーリエ変換装置の他の構成を示す図である。

【図 5】

本発明の実施例に関わる N ポイントの基底周波数に対するフーリエ係数を演算する再帰型離散フーリエ変換装置の構成を示す図である。

【図 6】

本発明の実施例に関わる N ポイントの基底周波数に対するフーリエ係数を演算する再帰型離散フーリエ変換装置の他の構成を示す図である。

【符号の説明】

- 1 データ更新部
- 2 基底周波数設定部
- 3 再帰処理部
- 4 乗算処理部

1 1、3 3、3 4、4 5 メモリ

1 2、3 1 減算器

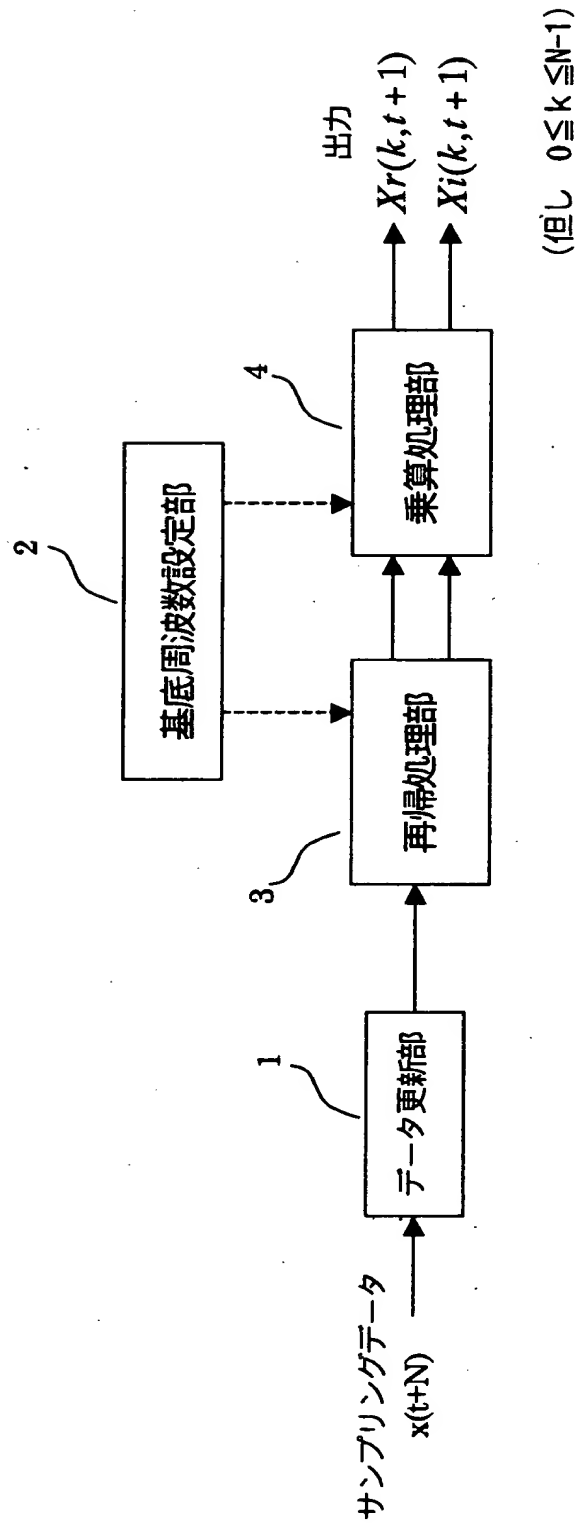
3 2、4 4 加算器

3 5、4 1、4 2、4 3 乗算器

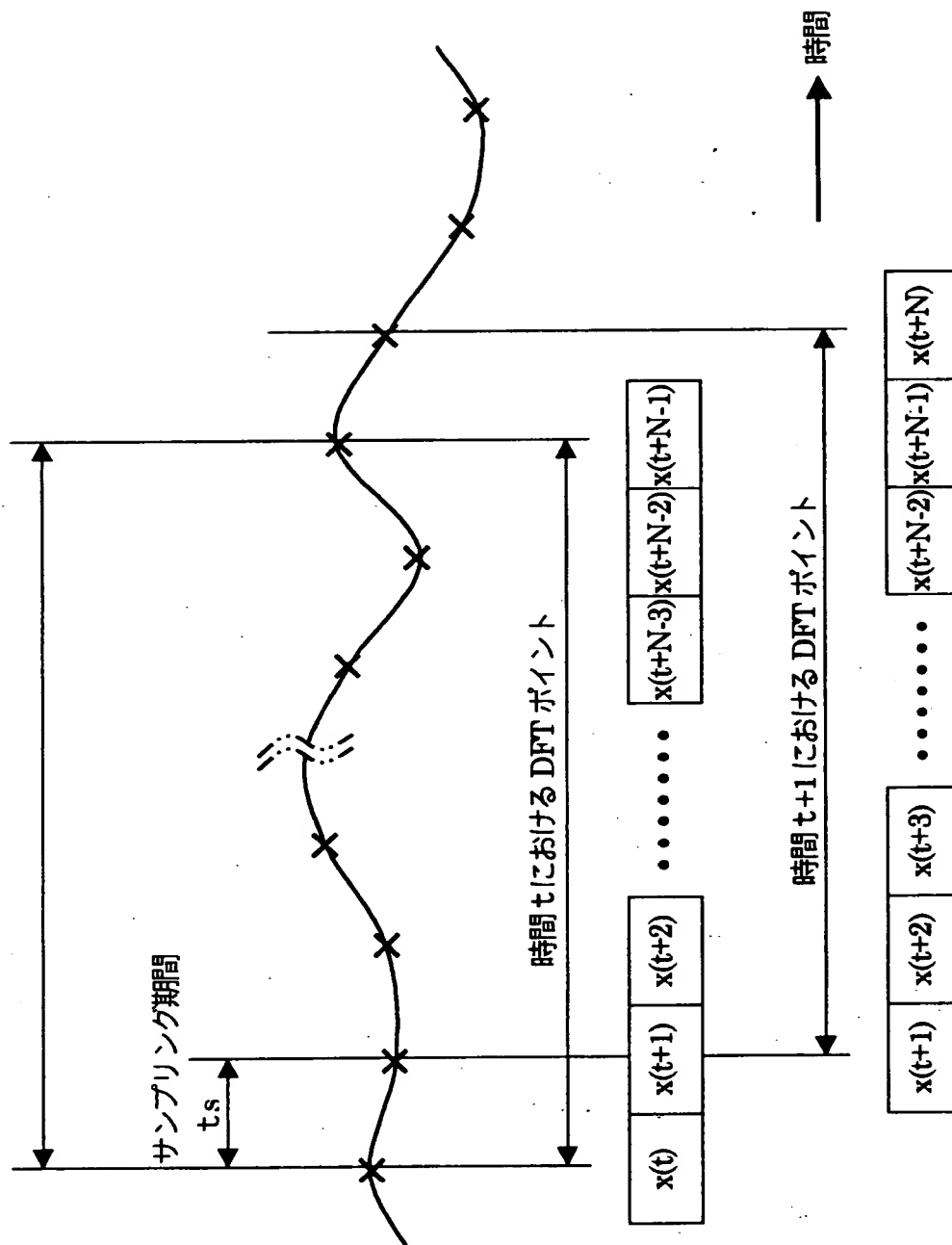
【書類名】

図面

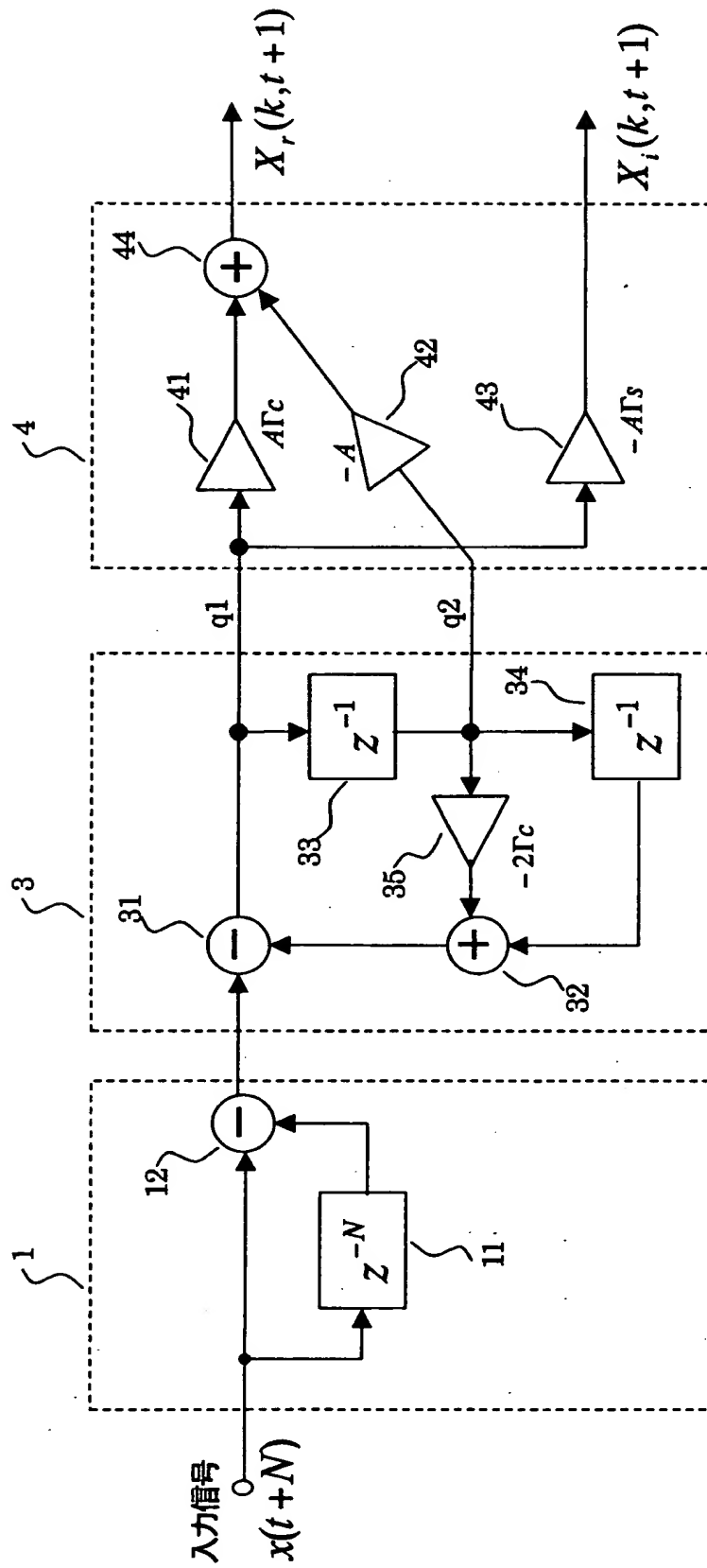
【図 1】



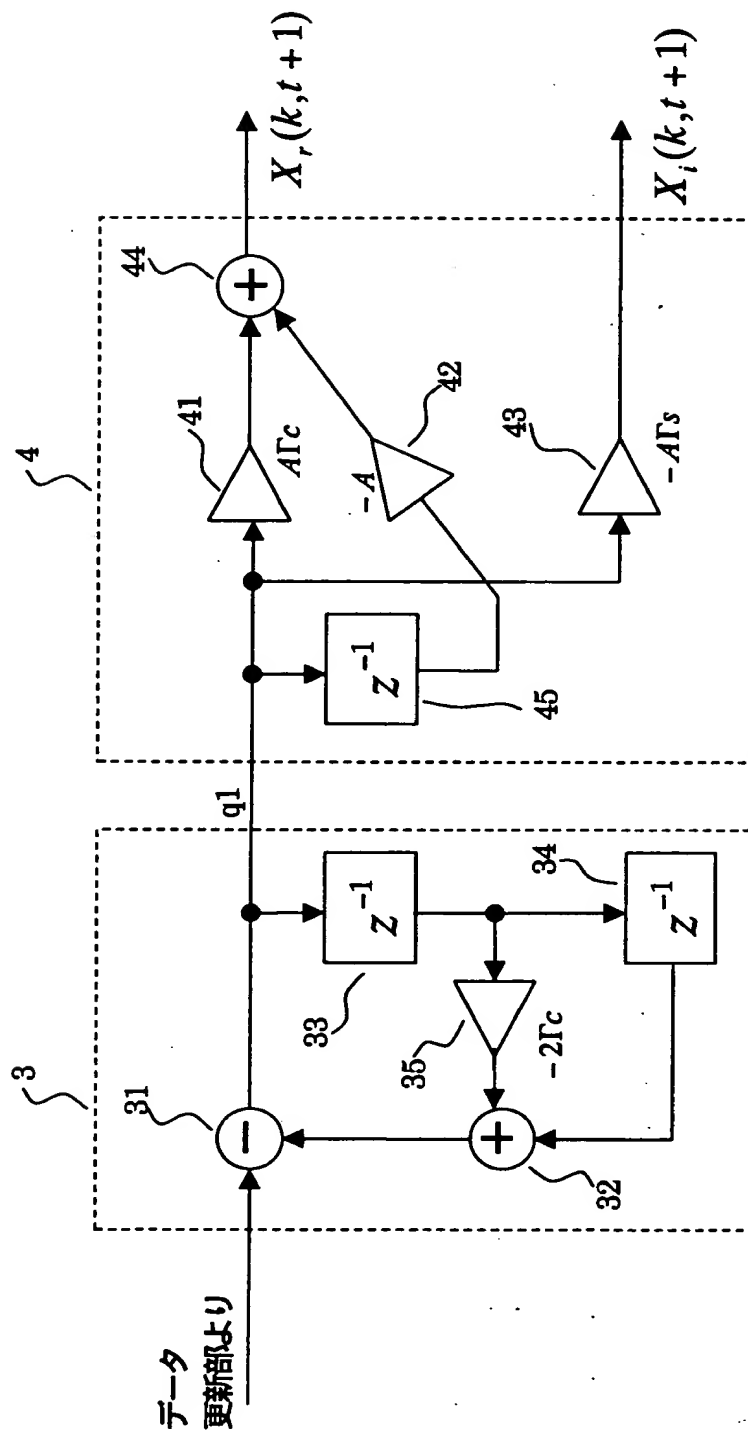
【図 2】



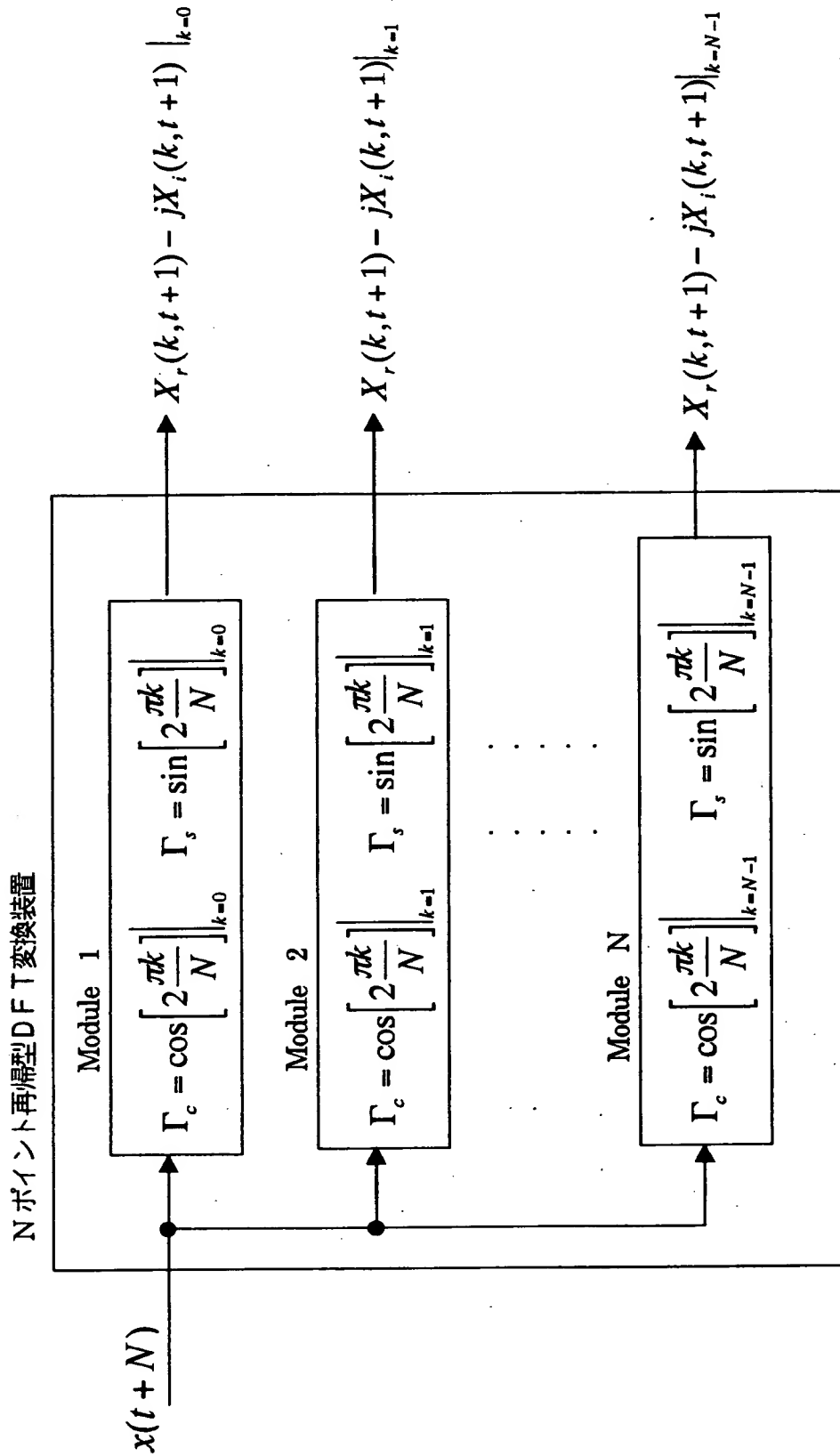
【図 3】



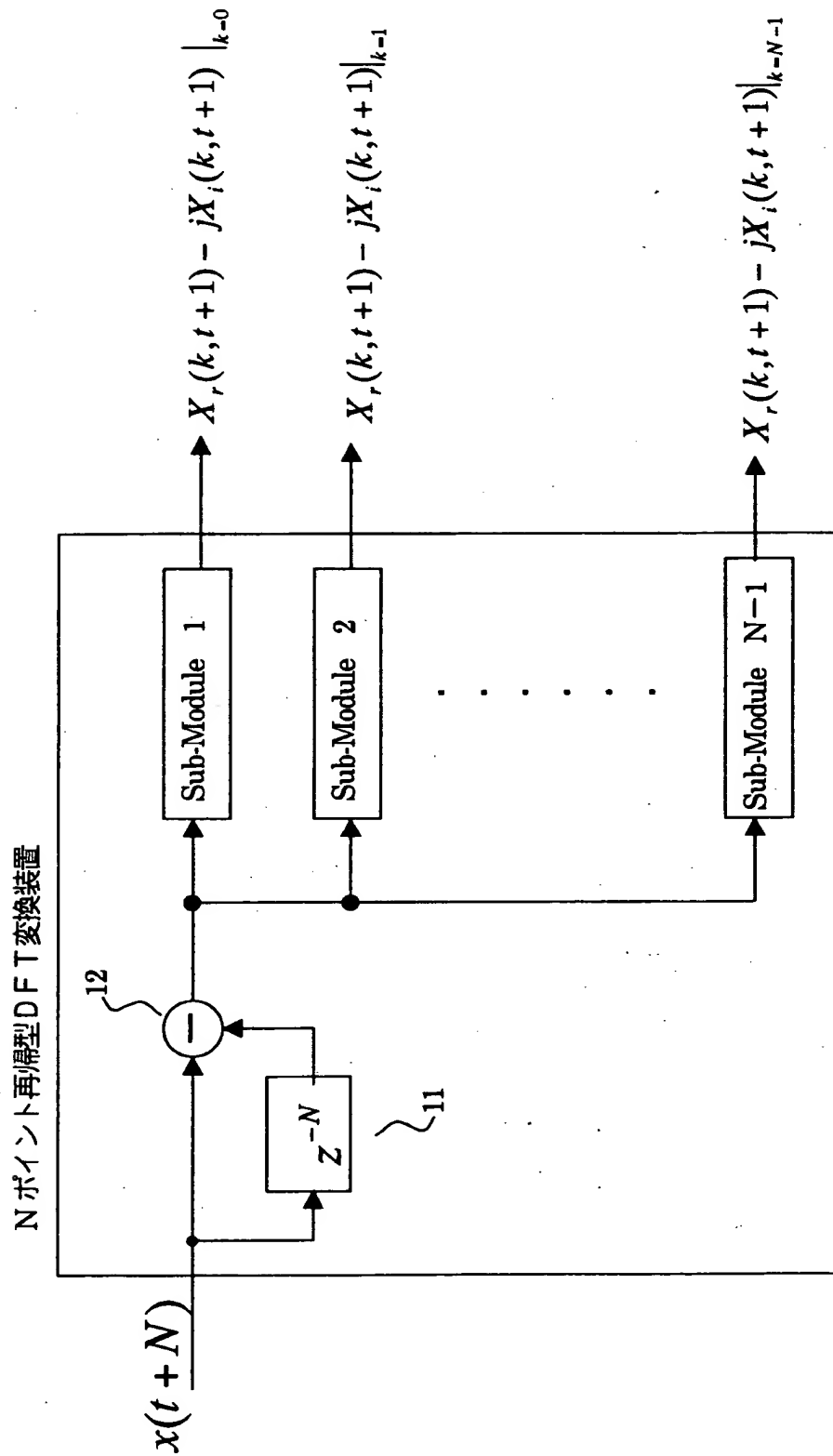
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 逐次供給される、サンプリングデータのフーリエ変換処理を、1
サンプリング期間内で高速に行うことにある。

【解決手段】 フーリエ変換装置に関し、逐次供給されるデータのうち、最新の
N個のデータを取得して一時記憶するに際し供給されるデータ値からN個前に供
給されたデータ値を減じて第1の減算信号を得るデータ更新手段1と、その第1
の減算信号より第2の減算信号を得るに際し、既に生成された第2の減算信号を
再帰的に用いて第2の減算信号を得る再帰処理手段3と、その第2の減算信号に
所定の定数値を乗算してフーリエ係数の実数部、及び虚数部信号を得る乗算演算
手段4とにより構成した。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004329]

1. 変更年月日 1990年 8月 8日
[変更理由] 新規登録
住 所 神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番地
氏 名 日本ビクター株式会社